

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV FYZIKÁLNÍ A SPOTŘEBNÍ CHEMIE

INSTITUTE OF PHYSICAL AND APPLIED CHEMISTRY

SLEDOVÁNÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ PŘI PROCESU ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD V RŮZNÝCH ČOV

MONITORING OF SELECTED PARAMETERS IN THE WASTEWATER TREATMENT PROCESS IN THE
VARIOUS WWTP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Nikola Dalajková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Martina Repková, Ph.D.

BRNO 2016



Vysoké učení technické v Brně
Fakulta chemická
Purkyňova 464/118, 61200 Brno

Zadání bakalářské práce

Číslo bakalářské práce:	FCH-BAK0977/2015	Akademický rok: 2015/2016
Ústav:	Ústav fyzikální a spotřební chemie	
Student(ka):	Nikola Dalajková	
Studijní program:	Chemie a chemické technologie (B2801)	
Studijní obor:	Chemie pro medicínské aplikace (2808R031)	
Vedoucí práce	Mgr. Martina Repková, Ph.D.	
Konzultanti:		

Název bakalářské práce:

Sledování vybraných parametrů při procesu čištění odpadních vod v různých ČOV

Zadání bakalářské práce:

1. Zpracování literární rešerže zaměřené na popis vybraných ukazatelů (chemických i mikrobiologických) při procesu čištění odpadních vod
2. Výběr vhodných ukazatelů a nastudování metod jejich stanovení
3. Posouzení vlivu vybraných ukazatelů na procesy čištění odpadních vod
4. Přehledné zpracování a interpretace získaných výsledků, porovnání s publikovanými daty.

Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2016

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu bakalářské práce. Toto zadání je přílohou bakalářské práce.

Nikola Dalajková
Student(ka)

Mgr. Martina Repková, Ph.D.
Vedoucí práce

prof. Ing. Miloslav Pekař, CSc.
Ředitel ústavu

V Brně, dne 31.1.2016

prof. Ing. Martin Weiter, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na problematiku čištění odpadních vod, konkrétně na ČOV Brno-Modřice. Jsou zde popsány obecné technologické parametry velkých a středních ČOV a také postup čištění odpadní vody přímo v ČOV Brno Modřice.

Největší důraz je kladen na biologický stupeň čištění odpadní vody. V daném stupni čištění se uplatňují chemické, biologické i fyzikální procesy. Pro stanovení účinnosti ČOV se používají různé ukazatele jako je CHSK, BSK, N_{celk.} a P_{celk.}, jejichž maximální přípustné hodnoty jsou stanoveny normou.

Základem biologického čištění je aktivovaný kal obsahující mikroorganismy, podle kterých se stanovuje účinnost čistícího procesu. Tyto mikroorganismy jsou stanovovány kvalitativně a kvantitativně. Pro porovnání účinnosti byly provedeny i měření aktivovaného kalu na dvou jiných ČOV. Tyto hodnoty byly poté porovnány v experimentální části práce.

ABSTRACT

This work is focused on wastewater treatment, specifically the WWTP Brno Modřice. Described herein are the general technological parameters of large and medium-sized wastewater treatment plants and wastewater treatment process in the WWTP Brno Modřice. The greatest emphasis is on biological phase of waste water treatment.

Purification employs chemical, biological and physical cleaning processes. To determine the effectiveness of the treatment plants various indicators are used such as COD, BOD, N_{total} and P_{total} whose the maximum permissible values are established in accordance to norm.

The basis of biological treatment is the activated sludge containing microorganisms, by which the effectiveness of the cleaning process is determined. These microorganisms are determined qualitatively and quantitatively. To compare the efficiency measurements of activated sludge were also made at two other wastewater treatment plants. These values were then compared in the experimental part of the work.

KLÍČOVÁ SLOVA

odpadní voda, mikrobiologický rozbor, mikroorganismy, aktivovaný kal, biologické čištění

KEYWORDS

wastewater, microbiological analysis, micro-organisms, activated sludge, biological treatment

DALAJKOVÁ, N. *Sledování vybraných parametrů při procesu čištění odpadních vod v různých ČOV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2016. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Mgr. Martina Repková, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou/bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....
podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce paní Mgr. Martině Repkové, Ph.D. za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat a také své rodině a přátelům za pomoc při gramatické kontrole práce.

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. TEORETICKÁ ČÁST	8
2.1 Čištění odpadních vod	8
2.2 Surová odpadní voda	8
2.3 Technologická linka velkých a středních čistíren odpadních vod	8
2.3.1 Mechanické čištění	8
2.3.2 Biologické čištění	9
2.3.3 Kalové hospodářství	9
2.4 ČOV Brno-Modřice	9
2.5 Metody čištění odpadních vod	9
2.5.1 Filtrace	10
2.5.2 Neutralizace	10
2.5.3 Redoxní děje	10
2.5.4 Anaerobní procesy	10
2.5.5 Aerobní procesy	10
2.6 Vybrané ukazatele přípustného znečištění odpadních vod	10
2.6.1 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)	11
2.6.2 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)	11
2.6.3 Celkový obsah dusíku ($N_{\text{celk.}}$)	11
2.6.4 Celkový obsah fosforu ($P_{\text{celk.}}$)	11
2.7 Stanovení chemické spotřeby kyslíku dichromanem	11
2.8 Výsledky z ČOV Brno-Modřice za rok 2014	12
2.9 Aktivační proces	12
2.9.1 Separace aktivovaného kalu	12
2.9.2 Složení aktivovaného kalu	13
2.10 Mikroorganismy aktivovaného kalu	13
2.10.1 Bakterie	13
2.10.2 Prvoci	14
2.10.3 Živočichové	15
2.10.4 Bakterie	15

2.10.5	Řasy a houby	15
2.11	Mikrobiologický rozbor	16
2.11.1	Kvalitativní rozbor	16
2.11.2	Kvantitativní rozbor	16
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	17
3.1	Vzorkování	17
3.2	Úprava vzorku	17
3.3	Přístroje a pomůcky	17
3.4	Mikrobiologický rozbor.....	17
3.5	Postup kvantifikace na počítači komůrce Cyrus I	18
3.6	Výpočet abundance.....	18
3.7	Pozorované mikroorganismy	18
4.	VÝSLEDKY A DISKUSE.....	19
4.1	Období č. 1 (12.11. – 10.12.2015).....	19
4.2	Období č.2 (9.2. – 28.4.2016).....	21
4.3	Porovnání ČOV 1 s ČOV Brno-Modřice	24
4.4	Porovnání ČOV Ratišovice s ČOV Brno-Modřice.....	26
4.5	Výsledky CHSK _{Cr} ČOV Brno Modřice.....	27
5.	ZÁVĚR.....	29
6.	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	30
7.	SEZNAM ZKRATEK.....	33
8.	SEZNAM PŘÍLOH	34
	Příloha 1	35
	Příloha 2	35
	Příloha 3	36
	Příloha 4	36
	Příloha 5	37

1. ÚVOD

Za odpadní vody se považují vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, které mají po použití změněnou jakost. Dále se zde uvádí vody z těchto zařízení odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod [1]. Normy environmentální kvality ukazatelů přípustného znečištění povrchových vod jsou vyjádřeny Nařízením vlády č. 401/2015 Sb., kterým se stanovují ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitosti k povolení vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a citlivé oblasti [2,3]. Odpadní vody se dělí do tří hlavních skupin na vody splaškové, městské a průmyslové. Důležitou informaci o odpadní vodě také podává specifické množství odpadní vody, neboli množství odpadní vody připadající na jednoho obyvatele nebo na jednotku charakterizující určitý výrobní proces, vztažené na jednotku času [1].

Ke zpracování a čištění odpadních vod se používají čistírny odpadních vod (ČOV), do kterých se odpadní vody dostávají složitým systémem kanalizačních přípojek spojených se stokovou sítí kanalizačních stok. Voda, která přitéká do ČOV se nazývá surová odpadní voda neboli nečištěná odpadní voda [1].

Vypouštění přečištěné odpadní vody zpět do vod povrchových je upravováno Nařízením vlády č. 401/2015 Sb. Toto nařízení stanovuje ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových a odpadních vod. Mezi hlavní ukazatele přípustného znečištění, které se v odpadní vodě stanovují se řadí například CHSK, BSK, $N_{\text{celk.}}$ a $P_{\text{celk.}}$. Přípustné hodnoty znečištění jsou uvedeny v Příloze 1 [1,2].

Kromě ukazatelů přípustného znečištění odpadních vod se v těchto vodách stanovuje kvantitativní a kvalitativní rozbor vody. Oba tyto rozborů jsou založeny na výskytu organismů v odpadních vodách. Podle druhů a množství výskytu těchto organismů ve vodách se stanovuje účinnost ČOV. Mezi základní druhy, které se v biologickém stupni čištění stanovují, patří bezbarví bičíkovci, kryptény, nálevníci, měňavky, slunivky a vířníci. Tyto rozborů se provádí z aktivovaného kalu, upraveného dle normy ČSN EN ISO 5667-13 [4].

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Čištění odpadních vod

Téměř do 18. století lidé vypouštěli odpadní vody nazpět do řek. Až později si uvědomili, že znečištění řek je nebezpečné a narůstá velmi rychle. Vzhledem k tomu, že většina řek sloužila jako zdroj pitné vody, narůstala potřeba nalézt jiné řešení pro nakládání s odpadní vodou. Postupem času začaly vznikat čistírny odpadních vod. První čistírna v České republice byla uvedena do provozu v Praze roku 1907 [5]. S rostoucím počtem populace byly vystavěny další ČOV, které se ukázaly být velmi efektivní při řešení problematiky čištění odpadních vod.

2.2 Surová odpadní voda

Surová odpadní voda se v síti stok zdržuje maximálně několik hodin, a proto je přiváděna do ČOV čerstvá, nezahnilá a se zbytky rozpuštěného kyslíku. Dalším provzdušňováním odpadní vody dochází k rozvoji aerobních organismů. Jestliže se odpadní voda v síti potrubí z nějakého důvodu zdrží déle, začnou se rozvíjet striktně anaerobní organismy.

Surová odpadní voda se skládá ze splaškových, městských a průmyslových odpadních vod. Tyto vody obsahují velké a rozmanité množství živých organismů. Pokud se ve vodě objeví nějaká toxická látka, tyto organismy se otráví a hynou. V důsledku úhynu organismů probíhá proces čištění pouze mechanicky. Surová odpadní voda obsahuje kromě bakterií velké množství bezbarvých bičíkovců, nálevníků, hlístic a dalších mikroorganismů [6]. Dno a stěny aktivačních nádrží jsou také porostlé bakteriálními slizy, vláknitými bakteriemi a houbami, které jsou nápomocné v aktivačním procesu. Výskyt těchto organismů v odpadních vodách indikuje špatný či dobrý chod ČOV [7]. Příkladem pro tato tvrzení je indikace vláknitých mikroorganismů, které se dají stanovit pomocí výskytu vířníka *Lecane inermis*. Tento druh byl uznán jako kontrolní ukazatel bytnosti aktivovaného kalu, které je nejčastěji způsobeno velkým výskytem vláknitých organismů, kterými se právě *Lecane inermis* živí [8].

2.3 Technologická linka velkých a středních čistíren odpadních vod

Čistírny odpadních vod lze členit podle účelu, podle použité technologie a podle velikosti [5]. ČOV mají nejčastěji 2 hlavní technologické stupně, kterými jsou mechanické a biologické čištění. Výjimečně se může přistoupit i k třetímu stupni čištění a to tehdy, pokud je třeba eliminovat uvolněné živiny jako ochranu před eutrofizací recipientů. Velmi důležitou součástí při čištění odpadních vod je také tzv. kalové hospodářství [7,9].

2.3.1 Mechanické čištění

Pro účely mechanického čištění se využívá usazování a zahušťování suspenzí. Nejprve dochází k hrubému předčištění, kde se odstraní velké nerozpuštěné látky. K odstranění těchto hrubých nečistot se používají lapáky šterku a česle. V lapácích šterků se zachytávají velké a těžké předměty. Česle zachytávají větší nerozpuštěné předměty (např. tráva, větve, ...), ale také hrubé nerozpuštěné částice jako jsou například větší zbytky ovoce a zeleniny, papíry atd. Další částí mechanického čištění jsou tvořeny lapáky písku, ve kterých se odstraňují suspendované, těžké anorganické látky jako písek, úlomky skla, jemná škvára a další [7,10].

2.3.2 Biologické čištění

Biologické, neboli sekundární čištění, slouží k odstranění organických látek z odpadní vody působením mikroorganismů a je tvořeno aktivačními a dosazovacími nádržemi. Aktivním činitelem tohoto stupně čištění, zvaného aktivace, je suspenze aktivovaného kalu. Rozmanitost kultivačních podmínek v ČOV má za následek i větší rozmanitost složení mikrobiálních společenstev aktivovaných kalů. V aktivační nádrži se provádí čištění odpadní vody pomocí mikroorganismů obsažených v odpadní vodě. V dosazovacích nádržích se oddělí aktivovaný kal od vyčištěné odpadní vody a zahustí se tak, aby bylo možné kal vrátit zpět do systému aktivačních nádrží, čímž se udržuje požadovaná koncentrace biomasy [9].

2.3.3 Kalové hospodářství

Odpadem při čištění odpadních vod je kal. Kaly představují přibližně 1 – 2 % objemu čištěných vod, je v nich však zkoncentrováno až 50 – 80 % původního znečištění a také náklady na provoz kalového hospodářství představují až 50 % celkových provozních nákladů čistírny odpadních vod. Koncentrace kalu se vyjadřuje jako obsah sušiny kalu v g.l^{-1} nebo v %. Složení a obsah sušiny je zcela závislé na čistírenských procesech, kterými odpadní voda projde. Kal se podle svých fyzikálních, chemických a biologických vlastností dále zpracovává, nejprve se však musí stabilizovat a to tak, aby nedocházelo k jeho biologickému rozkladu [11].

2.4 ČOV Brno-Modřice

V ČOV Brno-Modřice, ze které jsou odebírány vzorky pro tuto práci, jsou pro čištění odpadní vody používány právě dva výše zmíněné procesy čištění. Surová odpadní voda přitékaná do ČOV je nejprve přečerpána přes lapáky šterku a česle, poté je samospádem vedena přes lapáky písku vybavené pro separaci tuků. Dále je tato voda, přečištěná od hrubých nečistot, rozváděna do šesti usazovacích nádrží, kde dochází k mechanickému odstranění usazených látek. Tímto krokem je skončena mechanická část čištění odpadní vody. Dalším krokem v čištění je přečerpání vody do aktivačních nádrží. Nejprve jde voda do anaerobní části, kde je defosfatována, poté do oběhové anoxické části, kde je denitrifikována a následně přitéká do oxické části, kde je voda provzdušňována. Z aktivačních nádrží je tato aktivační směs přiváděna do šesti dosazovacích nádrží, kde je aktivovaný kal oddělen od vyčištěné odpadní vody. Aktivovaný kal je dále zpracováván a vrácen do procesu čištění, nebo použit pro výrobu bioplynu za pomoci vyhnívání. Schéma celého čistícího procesu ČOV Brno-Modřice je uvedeno v příloze 3 [12].

2.5 Metody čištění odpadních vod

Metody používané k čištění odpadních vod se rozšiřují či doplňují podle toho, jak se mění složení odpadních vod. Tyto metody rozlišujeme podle způsobu čištění na fyzikální, chemické a biologické. Jako fyzikální, někdy též mechanické metody se používá filtrace, usazování nebo centrifugace. Mezi chemické metody se řadí například neutralizace, oxidace a redukce, adsorpční procesy a srážecí reakce. Biologické metody čištění se dělí na procesy anaerobní a aerobní. Toto rozdělení je závislé na spotřebě kyslíku u bakterií, které odbourávají organické látky z vody. Nedá se však říci, že by některá z těchto skupin výrazně

převyšovala svou důležitostí skupinu druhou. Každé toto odvětví čištění obsahuje několik metod, které se řadí mezi hlavní metody, kterými se stanovuje čistota odpadních vod.

2.5.1 Filtrace

Filtrace je fyzikální metoda, která se využívá k předčištění odpadních vod. Jejím úkolem je oddělení nerozpuštěných látek v čištěné vodě [6]. Tato metoda je pro čištění odpadní vody velmi důležitá, jelikož jejím použitím se z odpadní vody odstraňují suspendované částice. Používá se více druhů filtrací, mezi ty nejpoužívanější patří česle a síta, která odstraní látky $> 1 \text{ mm}$, mikrosíta a pískové filtry látky $> 10 \text{ }\mu\text{m}$, náplavné filtry látky $> 1 \text{ }\mu\text{m}$ a mikrofiltry látky $> 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ [13].

2.5.2 Neutralizace

Neutralizace je chemická metoda používaná při vysokých nebo naopak nízkých hodnotách pH odpadních vod. Pro vypouštění odpadních vod platí podmínky, které jsou zveřejněny nařízením vlády č. 401/2015 Sb. a hodnota pH je jednou z těchto hodnot. Neutralizace je chemická reakce mezi kyselinou a zásadou, při které zreagují vodíkové a hydroxylové ionty za vzniku vody. Neutralizace může být prováděna například mícháním kyselých a zásaditých odpadních vod nebo přidávkem dalších chemikálií [1,2,10].

2.5.3 Redoxní děje

Redoxní děje neboli oxidace a redukce mají v procesu čištění odpadních vod také svoje využití. Oba tyto děje vždy působí současně. Pro účely čištění odpadních vod se využívá redoxních reakcí s činidly sloučenin chloru, ozonu, manganistanu draselného, peroxidu vodíku či vzdušného kyslíku [10].

2.5.4 Anaerobní procesy

Mikrobiální rozklad organismů za anaerobních podmínek probíhá v přírodě samovolně. Jeho konečné produkty jsou metan a oxid uhličitý, které se účastní atmosférického uhlíkového cyklu. Tento rozklad je velice efektivní a proto se začal uměle navozovat i v ČOV. Anaerobní procesy umožňují čištění odpadních vod s velkou koncentrací přítomných organických látek. Je to soubor na sebe navazujících procesů, na kterých se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů [10].

2.5.5 Aerobní procesy

Aerobní procesy potřebují pro svůj průběh dostatečný přísun kyslíku. Rychlost přísunu kyslíku musí být vyšší nebo minimálně rovna rychlosti jeho spotřeby. Reakce probíhající pod tímto názvem jsou: oxidace organických látek, syntéza buněčného materiálu, autooxidace buněčného materiálu a nitrifikační pochody [10].

2.6 Vybrané ukazatele přípustného znečištění odpadních vod

Přípustné a maximální hodnoty znečištění jednotlivých ukazatelů jsou uvedeny v Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. [2]. Hodnoty platné pro ČOV Brno-Modřice jsou uvedeny v řádku pro kategorii ČOV (EO) $> 100\,000$ v příloze č. 1. v tabulce č. 1.

2.6.1 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)

Pomocí BSK se stanovuje množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy při úplné oxidaci organických látek ve vodě. Množství spotřebovaného kyslíku je rovno obsahu biologicky rozložitelných látek v odpadních vodách. Na základě doby inkubace se rozlišují dva druhy BSK a to pětidenní biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5) a sedmidenní biochemická spotřeba kyslíku (BSK_7) [14].

2.6.2 Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)

CHSK je mírou obsahu látek schopných chemické oxidace a vyjadřuje se jako množství kyslíku v gramech, potřebné na úplnou oxidaci jednoho gramu dané látky. Pro stanovení v odpadních vodách se využívá chemická spotřeba kyslíku – dichromanová ($CHSK_{Cr}$) [10] [14].

2.6.3 Celkový obsah dusíku ($N_{celk.}$)

Celkový obsah dusíku v odpadních vodách je dán součtem koncentrací dusíku organického a všech jeho anorganických forem. Vyjadřuje se v mg/l celkového dusíku [14].

2.6.4 Celkový obsah fosforu ($P_{celk.}$)

Celkový obsah fosforu v odpadních vodách je dán organicky vázaným fosforem, anorganickými polyfosfáty a orthofosfáty. Vyjadřuje se v mg/l celkového fosforu nebo fosfátového fosforu [14]. Při vysokých koncentracích fosforu v odpadních vodách se jako úspěšná metoda k jeho odstranění používá EBPR (the Enhanced Biological Phosphorus Removal) neboli vylepšený biologický proces odstraňování fosforu. Tento proces je založen na použití mikroorganismů, jako jsou bakterie mléčného kvašení, fotosyntetické bakterie, kvasinky, aktinomycety a kvasné houby. Tyto mikroorganismy biologicky absorbují fosfor z vody. Oproti používané metodě absorpce, která je prováděna v aerobních podmínkách je metoda EBPR prováděna nejprve v anaerobních podmínkách za pomoci těkavé mastné kyseliny a poté teprve v aerobních podmínkách, kdy mikroorganismy absorbovaný fosfor zpracují [15,16].

2.7 Stanovení chemické spotřeby kyslíku dichromanem

K 20 ml objemu vzorku vody se přidá 0,4 g $HgSO_4$, varná tělíska, 10 ml 0,25 M K_2CrO_4 a 30 ml Ag_2SO_4 v H_2SO_4 . Takto připravený roztok se vaří pod zpětným chladičem po dobu 2 hodin. Během této doby se část dichromanu zredukuje přítomnými oxidovatelnými látkami a zbylý dichroman se titruje roztokem $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ o koncentraci 0,25 M. Ze spotřeby $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ se podle vzorce č. 1. vypočítá hodnota $CHSK_{Cr}$ v mg/l. Tato metoda je stanovena pomocí normy ČSN ISO 6060 včetně změny Z1 [17,18].

$$CHSK_{Cr} = \frac{8000 \cdot c \cdot (V_1 - V_2)}{V_0} \quad (1)$$

kde V_1 je spotřeba síranu diamonno-železnatého v ml na slepý pokus, V_2 je spotřeba síranu diamonno-železnatého v ml na vzorek, V_0 je objem vzorku použitý pro stanovení v ml, 8000

je molární hmotnost $\frac{1}{2} \text{O}_2$ v $\text{mg} \cdot \text{mol}^{-1}$, c je koncentrace titračního roztoku síranu diammonno-železnatého v $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, CHSK_{Cr} je chemická spotřeba kyslíku v $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

2.8 Výsledky z ČOV Brno-Modřice za rok 2014

Podle informací získaných z Výroční zprávy ČOV Brno-Modřice vydané pro rok 2014 byly zjištěny hodnoty celkových vytěžených a získaných surovin z odpadní vody a také účinnost jednotlivých ukazatelů znečištění odpadních vod.

Dle těchto informací bylo za rok 2014 vytěženo 1 906 tun písku, vyprodukováno 3 298 000 m^3 bioplynu a odstraněno 1 802 tun dusíku a 232 tun fosforu. Celkově bylo odvodněno 285 791 m^3 stabilizovaného kalu a celková hmotnost odvodněného a vysušeného kalu byla 22 970 tun.

Účinnost jednotlivých ukazatelů byla vyčíslena na BSK_5 98 %, CHSK_{Cr} 95,6 %, N_{celk} 89 % a P_{celk} 93,4 % [19].

2.9 Aktivační proces

Aktivační proces (aktivace), je nejstarší kontinuální kultivace mikroorganismů v nesterilních podmínkách [10]. Je to dnes nejrozšířenější způsob biologického čištění odpadních vod po celém světě [9]. Podstatou aktivačního procesu je aktivovaný kal, což je směsná kultura mikroorganismů. Tato spontánně vzniklá kultura mikroorganismů je výsledkem mísení odpadní vody s recirkulovaným aktivovaným kalem za intenzivního provzdušňování po určitou dobu. Poté následuje separace od vyčištěné odpadní vody a zahuštění. Tuto kulturu mikroorganismů se poprvé podařilo vypěstovat v Manchesteru roku 1913 a to dlouhodobým provzdušňováním městských splašků [7,10]. Stabilizace aktivovaného kalu probíhá samovolně podle složení odpadní vody, uspořádání a technologických parametrů aktivace. Toto složení je dáno vnitřními selekčními tlaky, které lze jen obtížně ovlivňovat z vnějšku [9]. Aktivovaný kal se skládá z větší části z bakterií. Mikroorganismy, které tvoří aktivovaný kal však nejsou to jediné čím je tvořen. Další důležitou součástí jsou i vločky aktivovaného kalu. Tyto vločky se vyvíjejí spontánně při provzdušňování odpadní vody a jsou tvořeny živými i mrtvými bakteriálními buňkami, protozoou a vyššími organismy, anorganickými částicemi, organickými vlákny a sraženinami solí [20]. Aktivovaný kal se vyznačuje tím, že je schopen separace od kapalně fáze prostou sedimentací. Dobrá flokulace a sedimentace vloček kalu je jednou z nejcennějších vlastností této směsné kultury [21].

2.9.1 Separace aktivovaného kalu

Aktivovaný kal musí mít dobré separační vlastnosti, jelikož hlavním důvodem jeho separace je vyčištění odpadní vody a navrácení aktivovaného kalu zpět do systému čištění. Separační vlastnosti aktivovaného kalu jsou dány vlastnostmi vloček aktivovaného kalu. Vločky jsou tvořeny vločkotvornými mikroorganismy, které produkují extracelulární polymery a vláknitými mikroorganismy. Separace se provádí pomocí sedimentace a musí splňovat několik požadavků.

- po sedimentaci zanechat čirý supernatant bez zvýšeného obsahu neusaditelných bakteriálních agregátů či mikrovloček;
- po sedimentaci nezaujímá odsazený kal velký objem;

- zahuštění kalu alespoň na 1% sušiny v dosazovací nádrži;
- odsazený a zahuštěný kal by neměl vzplývat alespoň 1,5 až 2 hodiny.

Ne vždy však aktivovaný kal splňuje tyto podmínky. Pokud se tak stane, musí se dále rozlišit základní separační problémy, které řadíme do 6 bodů. Těmito body jsou disperzní růst, neusaditelné mikrovločky, viskózní bytění, vzplývající kal, vláknité bytění a tvorba biologické pěny [22].

2.9.2 Složení aktivovaného kalu

Aktivovaný kal je heterogenní suspenze tvořená anorganickými a organickými látkami. Je bohatým zdrojem organické hmoty, stopových prvků a živin, jako je například dusík a fosfor. Obsah těchto látek bývá u jednotlivých čistíren celkem stabilní, ovšem porovnáním více čistíren mezi sebou bylo zjištěno, že tomu tak není. Nejčastější rody, které se v aktivovaném kalu vyskytují, jsou *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Chromobacterium*, *Azotobacter*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Mycobacterium* apod. [23]. Pro rozbor aktivovaného kalu se však nepoužívá rozdělení podle rodů, nýbrž podle společenstev (=cenóz). V odpadní vodě převládají cenózy bezbarvých bičíkovců, cenózy měňavek, cenózy krytének, cenózy slunivek, cenózy nálevníků a cenózy vířníků. Každá z těchto cenóz nějakým způsobem indikuje účinnost ČOV, tedy kvalitu vyčištěné odpadní vody [7,22]. Složení aktivovaného kalu však není po celý rok jednotné, mění se například podle ročních období, podle teploty, podle použitých kulivačních metod atd.

2.10 Mikroorganismy aktivovaného kalu

Jak bylo uvedeno v kapitole 2.9.2, jsou v aktivovaném kalu stanovovány mikroorganismy podle cenóz. V aktivovaném kalu se však vyskytuje mnohem více mikroorganismů a jsou rozděleny do 5 hlavních skupin: Bakterie, Prvoci, Živočichové, Vláknité bakterie, Řasy a houby.

2.10.1 Bakterie

Bakterie mají v aktivovaném kalu největší zastoupení a tvoří kolem 95 % všech mikroorganismů přítomných v aktivovaném kalu. Jejich rozdělení může být klasifikováno mnoha způsoby, často využívané je rozdělení podle jejich reakce na kyslík, tedy aerobní, anaerobní a fakultativní bakterie. Aerobní bakterie potřebují kyslík pro svůj růst, anaerobní bakterie kyslík k životu nepotřebují a fakultativní bakterie kyslík upřednostňují, ale mohou žít i bez něj. Bakterie se do odpadní vody dostávají pomocí povrchového odtoku, omýváním vodou a ve výkalech a jsou primárně zodpovědné za odstraňování organických živin z odpadní vody. Jejich struktura je relativně jednoduchá, jelikož jsou to malé, jednobuněčné mikroorganismy, které se rozděluje podle tří základních tvarů na *koky*, *bacily* a *spirily*. Mezi nejznámější patří *streptokoky*, *spirochety*, *streptobacily* atd. Bakterie potřebují pro svůj růst esenciální prvky a živiny, které jsou bohatě zastoupeny v komunálních odpadních vodách, a proto jsou v aktivovaném kalu tak hojně zastoupeny [24].

2.10.2 Prvoci

Prvoci jsou jednobuněčné organismy, které jsou v aktivovaném kalu zastoupeny zhruba 3%. Rozměry prvoků se pohybují mezi 5 μm až 1 mm, jsou tedy větší než bakterie. Mají zde důležitou roli v procesu čištění, kdy odstraňují a stravují volně se pohybující dispergované a suspendované částice. Většina prvoků žije volně a samostatně, ačkoli některé druhy tvoří i kolonie. Většina je přísně aerobní, ale někteří, včetně amoéb a bezbarvých bičíkovců, mohou přežít i v anaerobních podmínkách. Prvoci se podle způsobu pohybu dělí do 5. skupin a to na amoeby, bičíkovce, přisedlé nálevníky, volně žijící a lezoucí nálevníky [24].

- Amoeby (měňavky)

Amoeby jsou nejprimitivnějším typem prvoků, krmí se malými organickými částicemi, řasami, bakteriemi a dalšími malými prvoky. Pohybují se velmi pomalu a dokáží zůstat na místě i velmi dlouhou dobu, což znesnadňuje jejich identifikaci pod mikroskopem. Jejich pohyb připomíná jakési přelévání částí jejich členitého těla [24].

- Bičíkovci

Bičíkovci jsou pojmenováni podle pohybového bičíku, který těmto mikroorganismům pomáhá v pohybu skrz vodu. Obvykle je docela malý a má jeden až dva bičíky. Tělo je ohraničeno tuhou vnější membránou, potravu přijímají prostřednictvím tzv. buněčných úst. Bičíkovci v odpadních vodách se živí přednostně rozpuštěnými organickými živinami. V aktivovaném kalu se nejčastěji vyskytuje rod *Bodo* [24].

- Nálevníci

Nálevníci jsou nejdůležitější skupinou prvoků v aktivovaném kalu. Mají krátké „vlasy“, strukturou podobné řasinkám, které slouží k pohybu, ale také ke generování vodního proudu s potravou k ústům. Většinou se krmí bakteriemi, řasami a kvasinkami. Jejich výskyt v aktivovaném kalu většinou indikuje odstranění většiny organického materiálu z odpadní vody. Dělí se do 3 kategorií podle stravovacích návyků a to na volně žijící, lezoucí a přisedlé nálevníky [24].

- Volně žijící nálevníci se pohybují plaváním a jsou dominantní při vysokém počtu bakterií, kterými se živí. Mezi nejčastěji se vyskytující volně žijící nálevníky patří *Glaucoma*.
- Lezoucí nálevníci jsou v aktivovaném kalu celkem běžné. Jejich dominance indikuje dobré čistící podmínky. Vyskytují se poté, co byla odstraněna většina rozpustných živin. Mezi zástupce těchto nálevníků vyskytujících se v aktivovaném kalu patří zejména *Aspidisca*.
- Přisedlí nálevníci mají řasinky kolem pahorku na konci jejich těl. Tyto řasinky slouží pouze k vytvoření proudu přinášejícího částice potravy do jejich úst. Živí se suspendovanými bakteriemi, řasami a menšími prvoky. Některé druhy těchto nálevníků rostou odděleně, jiné v koloniích, které mohou čítat i více než 100 organismů. Nejčastěji se vyskytující přisedlí nálevníci jsou *Vorticella*, *Opercularia*, *Epistylis* či *Carchesium* [24].

2.10.3 Živočichové

V procesu čištění odpadních vod se uplatňují jenom mikroskopičtí živočichové, mezi ty nejdůležitější patří vířníci a hlístice. Ačkoli se živí bakteriemi, řasami a prvoky, nemají velký vliv na odstranění organických částic z odpadních vod. Jsou spíše ukazatelem dobrého stavu aktivovaného kalu a procesu čištění [24].

- Vířníci

Hlavním přínosem vířníků je vyčištění odpadní vody od zbylých bakterií, řas či malých prvků. Jejich výskyt však nachází výraznější uplatnění až při stáří kalu vyšším než je 5 dní [7]. V jednom systému čištění odpadní vody mohou být přítomny až 4 druhy vířníků, nikdy však nejsou dominantním druhem, kvůli nedostatku živin. Vířníci jsou dobrým ukazatelem toxicity odpadní vody, jelikož se na nich toxicita projevuje nejdříve a to jejich usmrcením. Jsou velice rozmanití jak do tvaru tak velikosti. Přední část vířníků se nazývá corona, je pokrytá řasinkami a slouží k distribuci potravy. Mezi nejvíce se vyskytující rody vířníků vyskytovaných v aktivovaném kalu patří *Rotaria*, *Habrotrocha* nebo *Philodina* [24].

- Hlístice

Přestože jsou hlístice mnohobuněčné organismy, jejich struktura je vcelku jednoduchá. Skládá se pouze ze zažívacího, reprodukčního a nervového systému. Jejich potrava je tvořena bakteriemi, houbami, malými prvoky a někdy pozrou i ostatní hlístice [24].

2.10.4 Bakterie

Vláknité bakterie se vyskytují jednotlivě, v párech, malých skupinách či krátkých řetězcích. Při změně provozních podmínek, jako je změna teploty, pH, zdržení kalu nebo i množství živin, však jejich počty mohou drasticky narůstat. Jejich dominance v aktivovaném kalu je nežádoucí, jelikož mohou způsobit problémy s usazováním kalu a tedy s jeho separací od vyčištěné odpadní vody. Některé druhy mohou být také prospěšné, například pro bakterie k tvorbě vloček aktivovaného kalu. Jejich převaha však opět způsobuje problémy s usazováním kalu. K určení jednotlivých druhů těchto vláknitých bakterií je zapotřebí taxonomický klíč, jelikož je tato skupina velmi početná [24].

2.10.5 Řasy a houby

Řasy jsou fotosyntetické organismy, které získávají energii ze slunce a uhlík z oxidu uhličitého. Jejich velikosti se pohybují od 1 µm do několika metrů a obecně jsou ve vodních systémech čištění velice prospěšné, jelikož dodávají kyslík bakteriím. Obvykle nejsou zdrojem problémů v procesu biologického čištění odpadních vod [24].

Houby také neobsahují chlorofyl, a proto potřebují jako zdroj energie organickou hmotu a zdroje uhlíku. Jejich velikosti se pohybují od několika µm do několika centimetrů a jejich růst závisí buď na samostatném krmení, nebo na spojení s rostlinami a zvířaty. Jejich dominance není v aktivovaném kalu obvyklá, pokud se však plísňe v systému čištění objeví, indikují problémy spojené se změnami pH a stářím kalu [24].

2.11 Mikrobiologický rozbor

2.11.1 Kvalitativní rozbor

Kvalitativní rozbor spočívá v co nejpřesnějším rozdělení jednotlivých organismů do rodů a druhů. Aby byla práce efektivní, je nutné naučit se rozpoznat hlavní indikátory jednotlivých organismů na první pohled. Nejdříve se určují organismy s velkým výskytem ve vzorku a ty, které po fixaci změny svůj tvar (např. prvoci) [7]. Stanovení se provádí v nativním preparátu a k determinaci jednotlivých organismů se používá odborná literatura.

2.11.2 Kvantitativní rozbor

Kvantitativní rozbor vychází z přesného počtu jedinců ve vzorku dle druhu na jednotku analyzovaného objemu či plochy. Konkrétně u odpadních vod a u ČOV je tento objem specifikován na 1 ml nebo 1 cm². Počítají se především živé organismy. Ve vzorku se počítají jednotlivé druhy organismů. Pokud však stanovení trvá déle než 15 – 30 minut, stanovují se organismy podle cenóz (všichni bičíkovci, všichni plovoucí nálevníci atd.) [7]. Pozorování se provádí pomocí počítacích komůrek. Pro odpadní vody se nejčastěji používá Cyrusova komůrka I. Objem této komůrky je upraven na 10 mm³, její hloubka je 0,1 mm a její celková plocha činí 100 mm².

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Vzorkování

Vzorky aktivovaného kalu byly odebírány v oxické části aktivační nádrže ČOV Modřice. Vzorky byly odebírány v průběhu dvou období pravidelně každý týden. V 1. období od 12.11.2015 do 10.12.2015 a v 2. období od 9.2.2016 do 5.5.2016. K odběru vzorků byly používány polyethylenové vzorkovnice se závitem o objemu 1000 ml. Vzorek byl poté transportován do laboratoře a umístěn do ledničky. Plán vzorkování byl upraven a dodržován podle normy ČSN EN ISO 5667-13 [4].

3.2 Úprava vzorku

Odebrané vzorky aktivovaného kalu byly pro mikrobiologický rozbor upraveny podle normy ČSN 75 7712 [25]. Vzorek aktivovaného kalu byl nejdříve protřepán, aby byl důkladně zhomogenizován. Poté bylo odebráno 10 ml vzorku do centrifugační zkumavky s kónickým hrotem a vzorek byl odstředěn po dobu 5 minut při 2000 otáčkách za minutu. Po odstředění byl ze vzorku slit supernatant a odstředěný a zahuštěný objem kalu byl upraven na 0,2 ml. K centrifugaci byla použita Centrifuga s výkyvným rotorem NF 800, Nüve, Turkey.

3.3 Přístroje a pomůcky

- Polyethylenová vzorkovnice o objemu 1000 ml, Merci, s.r.o., ČR
- Kalibrované centrifugační zkumavky s kónickým hrotem, Merci, s.r.o., ČR
- Centrifuga s výkyvným rotorem NF 800, Nüve, Turkey
- Binokulární světelný mikroskop, INTRACO MICRO, s.r.o., ČR
- Mikroskop pro laboratorní praxi TOPIC, LABO-MS, s.r.o., Praha
- Počítací komůrka typu CYRUS I, LAMBDA Praha, s.r.o., ČR
- Pasteurova pipetka, Merci, s.r.o., ČR
- Podložní a krycí sklíčka, Merci, s.r.o., ČR
- Laboratorní sklo, Merci, s.r.o., ČR
- Destilovaná voda

3.4 Mikrobiologický rozbor

Vzorek aktivovaného kalu byl vždy zpracován v den odběru. K mikrobiologickému rozboru byla pro kvantitativní stanovení použita komůrka typu Cyrus I. a pro kvalitativní stanovení byl použit nativní preparát vzorku.

U kvantitativního stanovení byla sledována celková abundance mikroorganismů vztažená na 1 ml vzorku. Malé množství upraveného vzorku bylo přeneseno na kapku destilované vody na mřížku počítací komůrky a přikryto krycím sklíčkem. Přebytná tekutina byla odsáta Pasteurovou pipetkou z odvodňovacích kanálků komůrky. Takto připravený vzorek byl poté pozorován pod světelným mikroskopem podle postupu kvantifikace počítací komůrky.

Pro kvalitativní rozbor byly připraveny nativní preparáty přenesením malého množství vzorku pomocí Pasteurovy pipetky do kapky destilované vody na podložní sklíčko. Takto připravený vzorek byl překryt krycím sklíčkem a pozorován pod světelným mikroskopem. Vždy byly připraveny 3 vzorky kalu.

Rozbor byl v 1. období prováděn za pomoci binokulárního světelného mikroskopu s celkovým zvětšením 80x. Od počátku roku 2016 byly vzorky pozorovány pod mikroskopem pro laboratorní praxi se zvětšením 1600x.

3.5 Postup kvantifikace na počítací komůrce Cyrus I

Komůrka typu Cyrus I. má 40 vodorovných a 40 svislých řad čtverečků o velikosti 250x250 μm. Počítání začíná od prvního řádku zleva směrem doprava a poté v druhém řádku zprava doleva. Tento postup se opakuje na zvolené ploše komůrky, v našem případě na celé ploše komůrky, tedy na 1600 čtvercích. Organismy, které zasahují do vyšetřované řady čtverců jenom mírně, se kvantifikují až v další řadě čtverců. Výpočet abundance kvantifikovaných organismů je vysvětlen v následující kapitole [26].

3.6 Výpočet abundance

K výpočtu abundance, tedy počtu jedinců v 1 ml vzorku se používá vzorec (2) stanovený normou ČSN 75 7712 [25].

$$X = \frac{a \cdot K}{n \cdot z \cdot V} \quad (3)$$

kde X je počet jedinců x buněk v 1 ml, a je počet jedinců x buněk v n čtvercích, K je celkový počet čtverců v počítací komůrce CYRUS I = 1600, n je počet vyšetřených čtverců = 1600, z je zahuštění vzorku = 50 a V je objem počítací komůrky CYRUS I = 0,01 ml.

3.7 Pozorované mikroorganismy

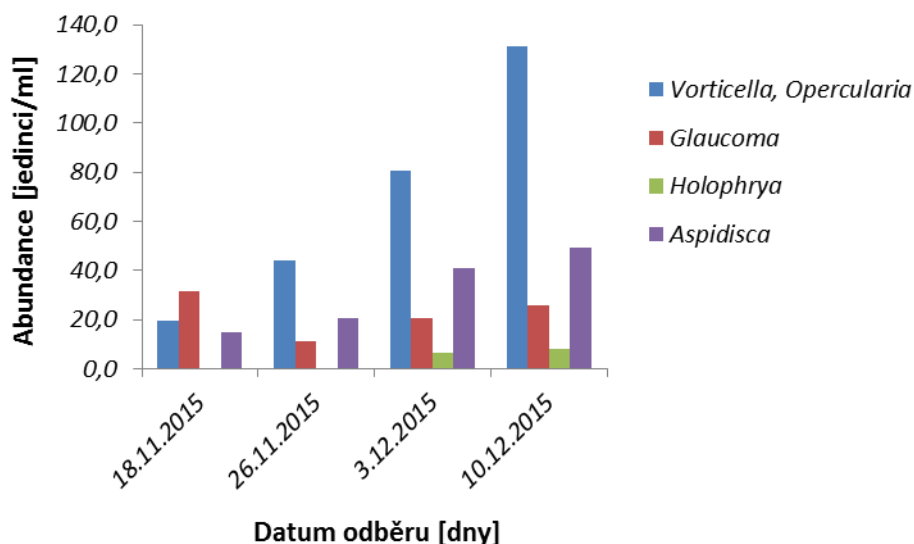
Ve vzorcích aktivovaného kalu byly jak kvantitativně tak kvalitativně určovány cenózy krytének, cenózy přisedlých, volně žijících a lezoucích nálevníků a cenózy vířníků. Dále byly stanovovány cenózy rourňatek a cenózy hlístic. Z cenózy krytének byla nejčastěji pozorována *Arcella*, jejíž výskyt indikuje nízké zatížení odpadní vody. Ze skupiny volně žijících nálevníků byla pozorována *Glaucoma*, nálevníky lezoucí po povrchu vločky zastupovala *Aspidisca* a přisedlí nálevníci byly zastupovány rody *Vorticella* a *Opercularia*. Cenóza vířníku pak byla zastoupena rody *Habrotrocha*, *Rotaria* a *Philodina*. Lezoucí a přisedlí nálevníci jsou považováni za indikátory stabilního čistícího systému a vířníci obvykle indikují vyšší stáří kalu [9]. Všechny MO byly určovány podle Atlasu vodních organismů [27].

4. VÝSLEDKY A DISKUSE

Vzorky aktivovaného kalu byly odebrány z oxické části aktivační nádrže ČOV Modřice nejprve v období od 12.11.2015 do 10.12.2015 a dále v období od 9.2. 2016 do 5.5.2016 a to v týdenních intervalech. Nejprve bylo na konci roku 2015 odebráno celkem 5 vzorků nezředeného aktivovaného kalu, na kterých byly provedeny kvalitativní a kvantitativní stanovení, vždy nejméně na 3 připravených preparátech. V tomto období bylo zvětšení používaného světelného mikroskopu pouze 80x a z tohoto důvodu byly určeny jen základní MO, které byly při tomto zvětšení viditelné. Začátkem roku 2016 byl už k dispozici světelný mikroskop s výrazně větším rozlišením - až 1600x, které umožnilo detailněji prozkoumat a tím i lépe rozlišit jednotlivé doposud pozorované druhy MO a také určit další rody MO, které se při tomto zvětšení daly pozorovat. Celkem tedy bylo připraveno 93 preparátů pro kvalitativní a kvantitativní stanovení z ČOV v Brně-Modřicích a pak také po 6 preparátech z ČOV 1 a ČOV Ratišovice. Výsledky byly zpracovány graficky v programu MS Excell a u ČOV 1 a Ratišovice také porovnány s výsledky z ČOV Brno-Modřice se vzorky odebranými tentýž den. U každého z těchto vzorků bylo stanovováno zastoupení jednotlivých MO a jejich abundance. Při úpravě vzorku aktivovaného kalu se postupovalo podle normy ČSN 75 7712. U stanovení chemických ukazatelů, konkrétně BSK₇ byla ověřena pouze metodika. CHSK_{Cr} byla stanovena celkem 5x a to ve dvoutýdenních po sobě jdoucích intervalech v období od 25.2.2016 do 28.4.2016. Porovnání výsledků získaných touto metodou je uvedeno v tabulce č. 4 v kapitole 4.5.

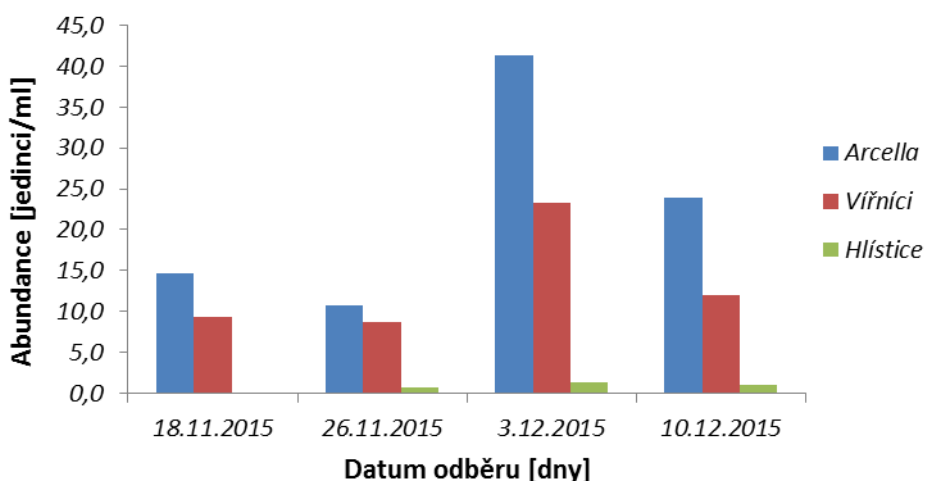
4.1 Období č. 1 (12.11. – 10.12.2015)

Mikroskopický rozbor vzorků odebraných a sledovaných v tomto období byl prováděn na binokulárním mikroskopu při zvětšení 40x – 80x. Při tomto zvětšení byly patrné pouze základní rody cenóz MO pozorovaných v aktivovaném kalu. Ve všech vzorcích byly pozorovány rody *Arcella*, *Habrotrocha*, *Rotaria/Philodina*, *Opercularia*, *Glaucoma* a *Aspidisca*. Ve třech z pěti odebraných vzorků byly také pozorovány hlístice. Dále se ke konci roku začaly vyskytovat další rody a to *Vorticella* a *Holophrya*. V posledním vzorku byli viděni i bezbarví bičíkovci.



Graf 1 Abundance druhů nálevníků v období č. 1

Z grafu 1 vyplývá, že ve vzorcích byly nejvíce zastoupeny rody přisedlých nálevníků, jako jsou *Vorticella* a *Opercularia*. Jejich abundance se v každém vzorku zvyšovala, což indikuje odstranění převážné většiny organických živin z odpadní vody. Volně žijící nálevníci rodu *Glaucoma* se v aktivovaném kalu vyskytovaly v menším množství než přisedlí nálevníci a jejich abundance se pohybovala kolem 20 – 30 jedinců v ml aktivovaného kalu. Dále se v prosinci začal vyskytovat rod *Holophrya*, ale jeho abundance byla nízká, kolem 10 jedinců na ml aktivovaného kalu. Přítomnost těchto rodů nálevníků indikuje nedokončený proces čištění. Výskyt lezoucích nálevníků rodu *Aspidisca* se postupně zvyšoval, ale nebyl tak rapidní jako u přisedlých nálevníků. Jejich výskyt indikuje vysokou kvalitu vyčištěné odpadní vody.



Graf 2 Abundance ostatních mikroorganismů v období č. 1

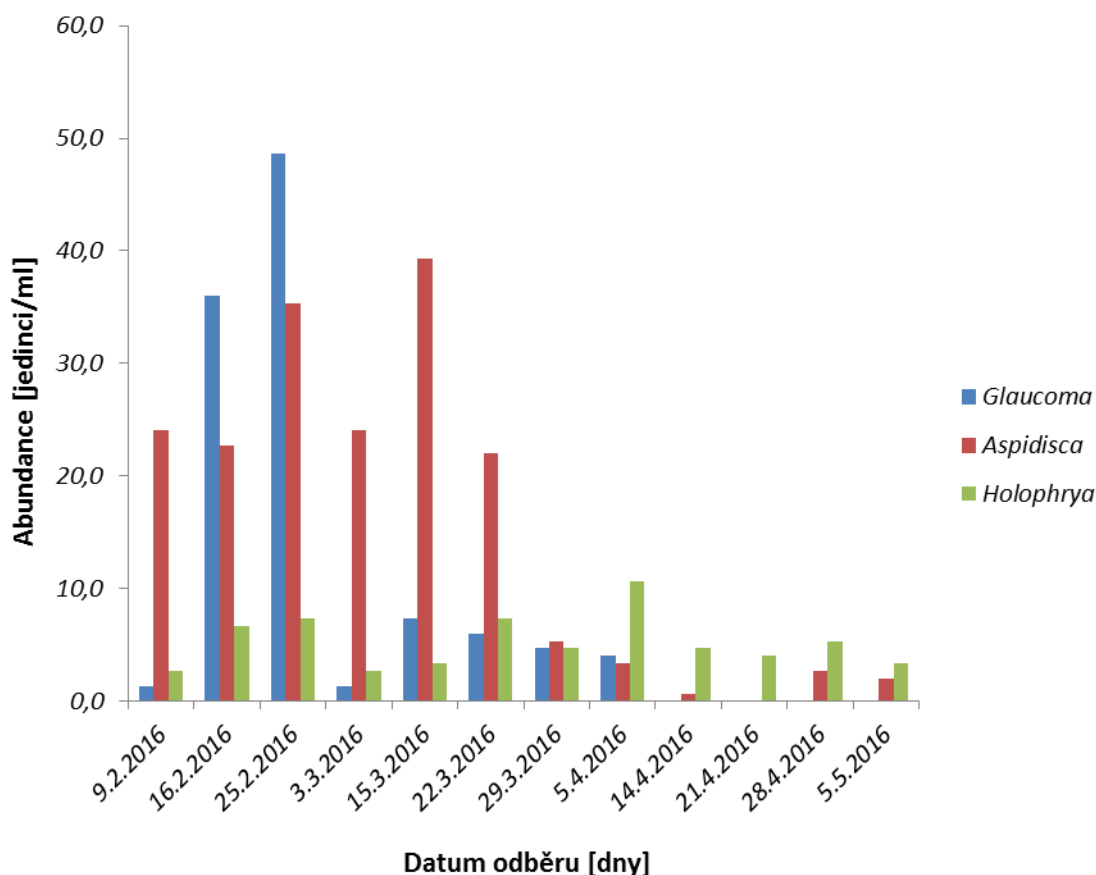
Z dalších pozorovaných MO byly hojně zastoupeny kryténky rodu *Arcella*, které indikují nízké zatížení kalu a vysoký stupeň vyčištěné odpadní vody. Dále byl zaznamenán výskyt

vířníků okolo 10-15 jedinců na ml aktivovaného kalu a v neposlední řadě byly viděny i hlístice.

Z výskytu MO v období č. 1 bylo zjištěno, že ČOV Brno Modřice měla v zimních měsících roku 2015 dobrou účinnost čištění odpadní vody. Kvalita vyčištěné odpadní vody byla vysoká a zatížení aktivovaného kalu bylo nízké.

4.2 Období č.2 (9.2. – 28.4.2016)

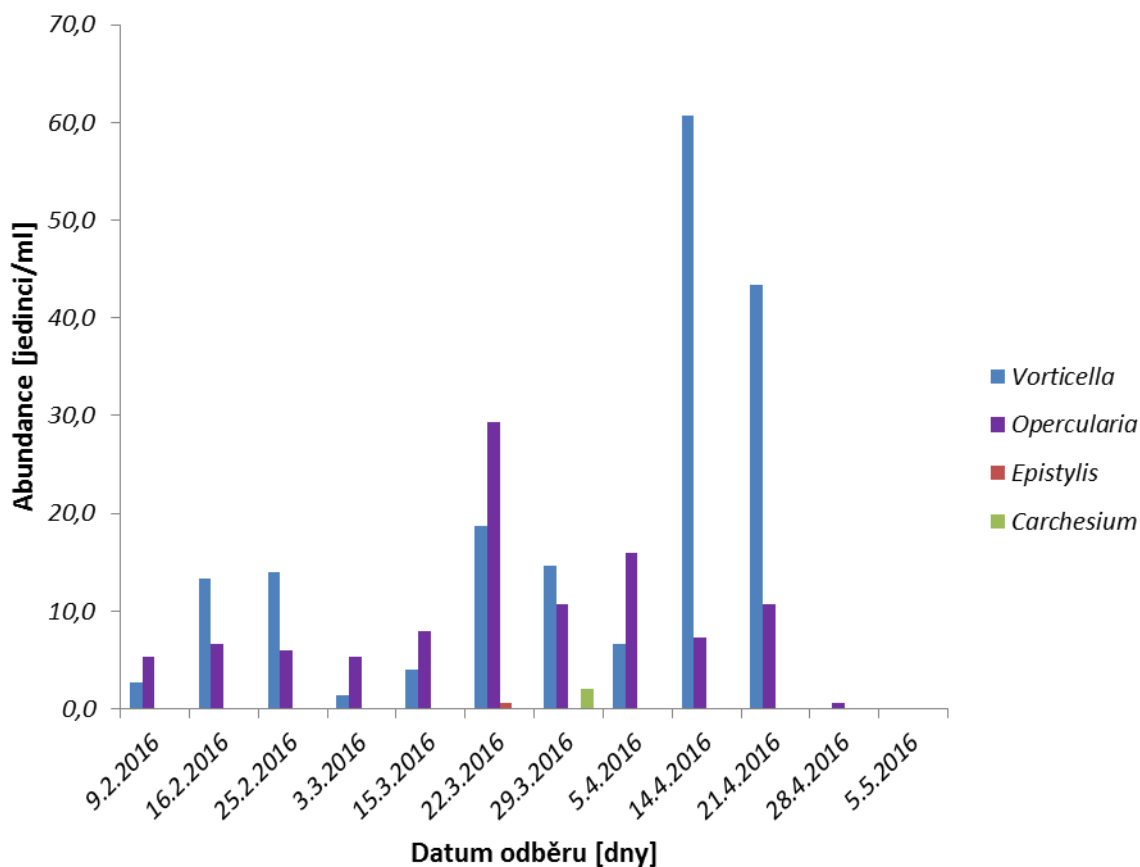
Mikroskopický rozbor MO v období č. 2 byl prováděn na binokulárním mikroskopu s několikanásobně větším zvětšením než v období č. 1 - 1600x. Při tomto zvětšení bylo již možné rozeznat lépe jednotlivé rody MO přítomných ve vzorku aktivovaného kalu. Pomocí kvalitativního stanovení byly ve vzorcích aktivovaného kalu nalezeny kryténky rodu *Arcella*, vířníci rodu *Habrotrocha*, *Rotaria* a *Notommata* a více rodů přisedlých, lezoucích i volně se pohybujících nálevníků. Dále byli pozorováni bezbarví bičíkovci, hlístice a s postupným oteplováním i někteří zástupci rouratek. Podvkrát byla viděna i *Zooglea*.



Graf 3 Abundance plovoucích a lezoucích nálevníků v období č. 2

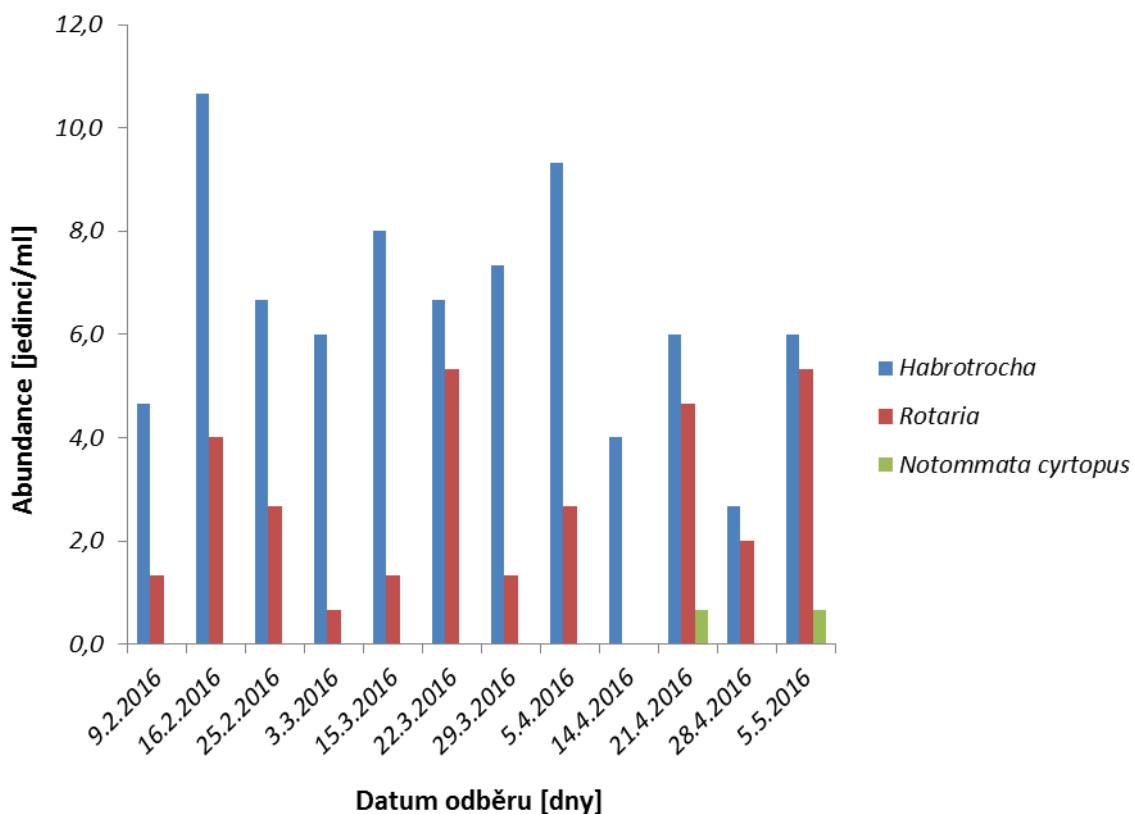
Na počátku, kdy bylo počasí chladnější, byla ve vzorcích hojně zastoupena *Glaucoma*, jejíž výskyt indikuje neukončené čištění. Postupem času se zvyšující se teplotou počasí jejich výskyt vymizel. Avšak po celou dobu měření tohoto období byla ve vzorcích přítomna *Holophrya*, která indikuje ty samé problémy, tedy neukončené čištění. Její výskyt však nebyl tak vysoký, nikdy nepřesáhl 15 jedinců na ml aktivovaného kalu. Se zvyšující se teplotou

počasí výrazně ochabl i výskyt rodu *Aspidisca*, který indikuje vysokou kvalitu vyčištěné vody, nicméně tyto MO byly ve vzorcích přítomny vždy až na jednu výjimku.



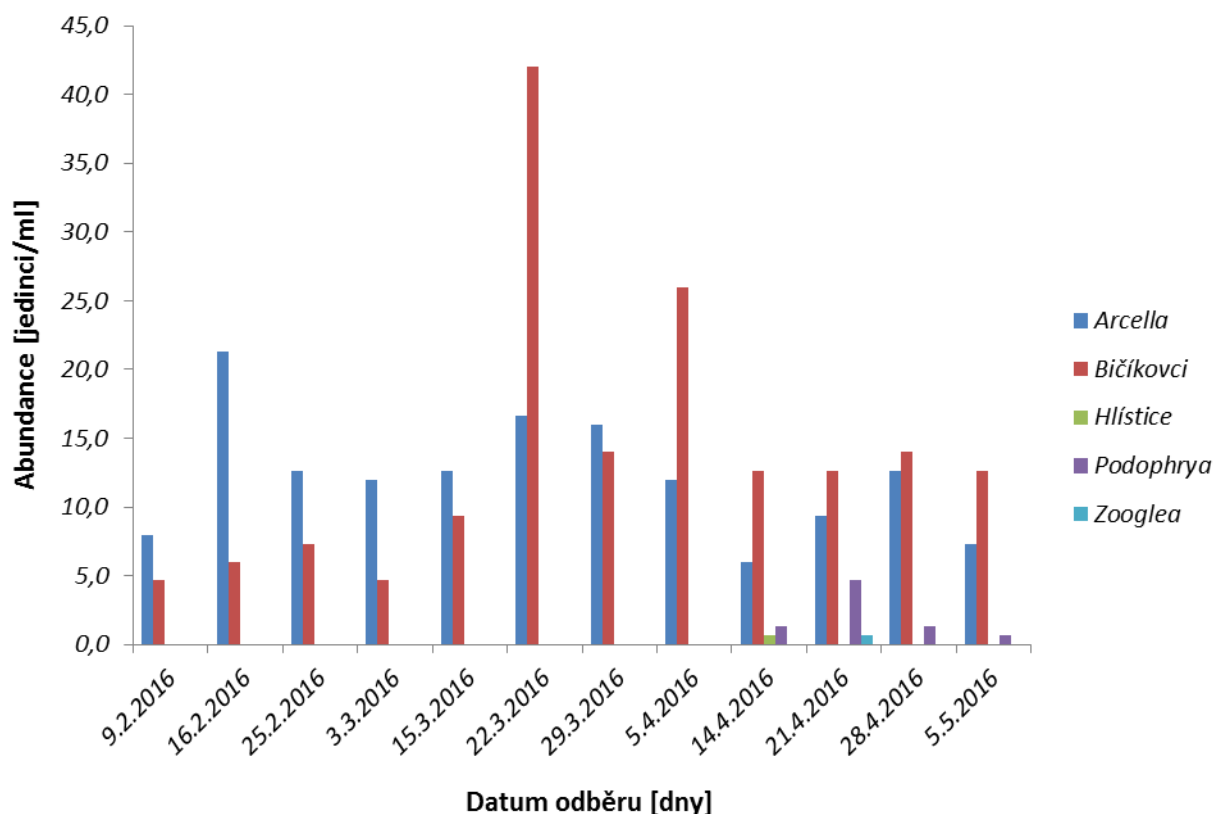
Graf 4 Abundance přisedlých nálevníků v období č. 2

Se zvyšující se teplotou počasí se výskyt přisedlých nálevníků zvýšil a to hlavně u rodu *Vorticella*. Výskyt *Opercularia* byl v teplejších týdnech taktéž vyšší, ale v průměru se točil okolo 15 jedinců na ml vzorku aktivovaného kalu. Ačkoli byly ve vzorcích v posledním měsíci zkoumání často k vidění přisedlí nálevníci rodu *Epistylis* či *Carchesium*, jejich výskyt nebyl natolik vysoký, aby se projevil při kvantitativním stanovení. Poslední dvě měření nebyl zaznamenán prakticky žádný výskyt těchto přisedlých nálevníků. Tito nálevníci zpravidla indikují odstranění převážné většiny organických živin v aktivovaném kalu, dle grafu je tedy zřejmé, že poslední dva týdny měření nebyla účinnost MO tak vysoká a voda byla více zatížena organickými živinami.



Graf 5 Abundance vířníků v období č. 2

V průběhu celého období č. 2 byly ve vzorcích aktivovaného kalu zastoupeny některé rody vířníků. V každém stanovení se vyskytoval rod *Habrotrocha*, poměrně časté byly výskyty rodu *Rotaria* a podvkrát byl spatřen i rod *Notommata*. Výskyt vířníků nebyl však tak vysoký, maximální počet jedinců v 1 ml dosahoval 11. Takto nízký výskyt vířníků indikuje dobře vyčištěnou odpadní vodu.



Graf 6 Abundance ostatních mikroorganismů v období č. 2

V průběhu celého měření byl stanoven výskyt kyténky rodu *Arcella*, jejíž množství se výrazně neměnilo a pohybovalo se okolo 13 jedinců na ml aktivovaného kalu. Výrazně se také uplatňovala cenóza bezbarvých bičíkovců, která nebyla dále členěna. Jejich počty byly ze začátku nízké, ale postupem času se zvýšily a poté se ustálily na hranici 15 jedinců v ml aktivovaného kalu. V neposlední řadě bylo stanoveno i několik jedinců z cenózy rouratek a hlístic. Výskyt rodu *Arcella* a cenózy bezbarvých bičíkovců doplněné o výskyt hlístic napovídá o dobré kvalitě vyčištěné odpadní vody a nízkém zatížení kalu.

4.3 Porovnání ČOV 1 s ČOV Brno-Modřice

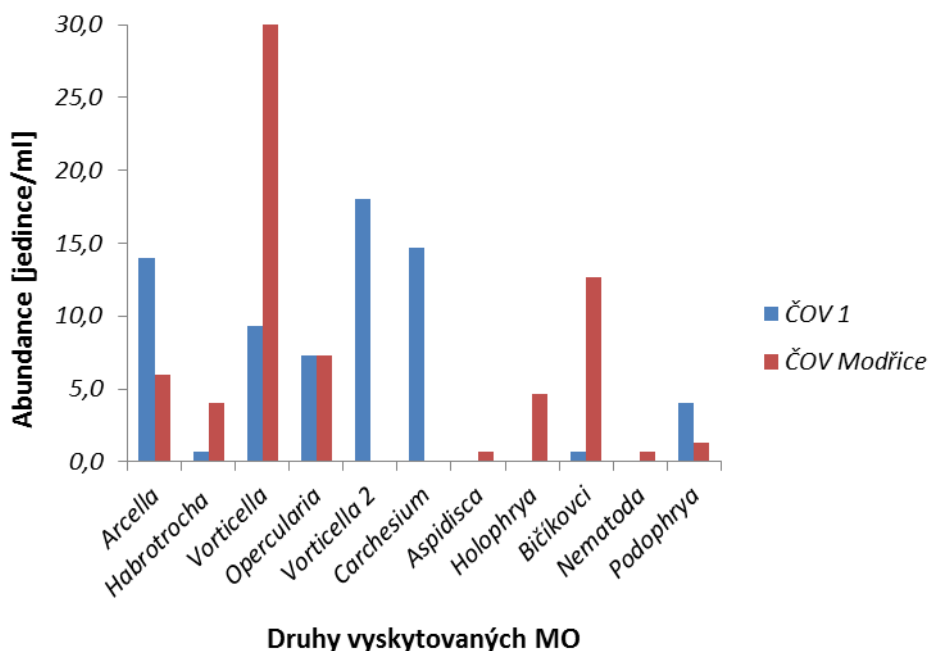
Po kvalitativním stanovení MO z ČOV 1 bylo zřejmé, že proces čištění odpadní vody je jiný než v ČOV Brno-Modřice a také, že se zde nejedná o městskou splaškovou vodu nýbrž o jiný druh odpadní vody. ČOV 1 je komunální ČOV jejíž platné hodnoty jsou uvedeny v řádku pro kategorii ČOV (EO) 500 – 2000 v příloze č. 1. v tabulce č. 1. Odtok z této ČOV je rozdělen na polovinu, kdy pro EO 500 odtéká předčištěná průmyslová voda a pro EO 500 komunální voda. Aktivovaný kal byl odebrán z biologického stupně čištění, který navazoval na mechanický stupeň čištění. Mechanický stupeň čištění je založen na chemickém čištění, jehož principem je vysrážení kovů. Aktivovaný kal z ČOV 1 obsahoval velké množství rostlinných zbytků a mrtvých MO a také menší množství zelených vláknitých MO.

Tabulka 2 Porovnání výskytu MO v ČOV 1 a ČOV Brno-Modřice

Mikroorganismy	ČOV Modřice	ČOV 1
<i>Arcella</i>	✓	✓
<i>Habrotrocha</i>	✓	✓
<i>Rotaria</i>	✓	✗
<i>Vorticella</i>	✓	✓
<i>Opercularia</i>	✓	✓
<i>Nálevník</i>	✗	✓
<i>Carchesium</i>	✗	✓
<i>Aspidisca</i>	✓	✓
<i>Holophrya</i>	✓	✓
<i>Bezbarví bičíkovci</i>	✓	✗
<i>Hlístice</i>	✓	✓
<i>Podophrya</i>	✗	✓
<i>Heliophrya</i>	✓	✓

Pozn.: ✓ - MO se vyskytoval, ✗ - MO se nevyskytoval

Při porovnání výskytu jednotlivých MO vyskytujících se v ČOV Brno Modřice byla převážná většina stanovena i v ČOV 1. Oproti ČOV Brno Modřice byl ve vzorku stanoven pravděpodobně rod *Vorticella*, který byl morfologicky odlišný od *Vorticelly* stanovené v ČOV Brno Modřice. Ve vzorku z ČOV 1 nebyly oproti ČOV Brno Modřice vůbec přítomni vířníci rodu *Rotaria* a cenóza *bezbarvých bičíkovců*. Oproti ČOV Brno Modřice zde však bylo poměrně hojně zastoupené *Carchesium*, výše zmiňovaný rod *Vorticelly* a *Podophrya*.



Graf 7 Porovnání abundance z ČOV 1 a ČOV Brno Modřice ze 14.4.2016

Dle grafu 7 je patrné, že abundance jednotlivých rodů MO v těchto dvou ČOV je velice rozdílná. Zatímco ČOV 1 vykazuje abundanci *Arcell* a přisedlých nálevníků kolem 15 jedinců na ml vzorku aktivovaného kalu, ČOV Brno Modřice vykazuje výskyt těchto MO snížený a u některých rodů i nulový. Výjimku zde tvoří *Vorticella*, jejíž abundance vykazovala přes 60 jedinců na ml vzorku.

4.4 Porovnání ČOV Ratišovice s ČOV Brno-Modřice

ČOV Ratišovice má kapacitu EO 200, jedná se tedy o malou středně zatěžovanou ČOV s nitrifikací. Příпустné hodnoty ukazatelů znečištění pro kategorii ČOV (EO) <500 jsou uvedeny v příloze č. 1 v tabulce č. 1 v prvním řádku. Přebytný kal je zde odvodňován na dehydrátoru a fugát je vrácen zpět do aktivačního procesu.

I v případě ČOV Ratišovice bylo při prvním kvalitativním stanovení zřejmé, že proces čištění v této ČOV je jiný než v ČOV Brno Modřice. Oproti aktivovanému kalu z ČOV Modřice bylo v tomto kalu stanoveno množství rostlinných zbytků, málo vloček aktivovaného kalu a hlavně malé oživení. Kvůli nízkému výskytu MO v aktivovaném kalu z ČOV Ratišovice nebylo provedeno kvantitativní stanovení.

Tabulka 3 Porovnání výskytu MO v ČOV Ratišovice a ČOV Brno-Modřice z 20.4.2016

Mikroorganismy	ČOV Modřice	ČOV Ratišovice
<i>Arcella</i>	✓	✗
<i>Habrotrocha</i>	✓	✗
<i>Notommata</i>	✗	✓
<i>Rotaria</i>	✓	✓
<i>Vorticella</i>	✓	✗
<i>Opercularia</i>	✓	✓
<i>Epistylis</i>	✓	✗
<i>Aspidisca</i>	✓	✓
<i>Holophrya</i>	✓	✓
<i>Bezbarví bičíkovci</i>	✓	✓
<i>Hlístice</i>	✗	✓
<i>Podophrya</i>	✓	✓
<i>Tohophrya</i>	✓	✗
<i>Zooglea</i>	✓	✗

Pozn.: ✓ - MO se vyskytoval, ✗ - MO se nevyskytoval

Jak vyplývá z tabulky č. 3, oživení aktivovaného kalu z ČOV Ratišovice bylo nízké. Stanoveny byly pouze rody *Notommata*, *Rotaria*, *Opercularia*, *Aspidisca*, *Holophrya*, bezbarví bičíkovci, hlístice a *Podophrya*. Včetně blíže neurčeného druhu vířníka byly MO stanovené v ČOV Ratišovice stejné jako v ČOV Brno-Modřice.

4.5 Výsledky CHSK_{Cr} ČOV Brno Modřice

Pro posouzení účinnosti celého čistícího procesu byly v dvoutýdenních intervalech, počínaje 16.2.2016, odebírány vzorky surové odpadní vody a odtoku z ČOV Brno-Modřice. Celkem bylo takto zpracováno 5 vzorků přítoku a odtoku odpadní vody v ČOV Brno-Modřice.

Tabulka 3 *Výsledky CHSK_{Cr}*

Datum	Objem vstupu [ml]	Objem výstupu [ml]	CHSK_{Cr} vstup [mg.l⁻¹]	CHSK_{Cr} výstup [mg.l⁻¹]
25.2.2016	20	20	430	40
15.3.2016	20	20	760	40
29.3.2016	1	20	1 800	40
14.4.2016	20	20	600	100
28.4.2016	20	20	390	40

Výpočet výsledků byl proveden dle vzorce (1) podle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Toto nařízení uvádí maximální přípustné hodnoty CHSK_{Cr}, podle kterých byly výsledné hodnoty CHSK_{Cr} porovnány. Podle hodnot uvedených v Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. a výsledků CHSK_{Cr} na výstupu bylo zjištěno, že u ČOV Brno Modřice nebyly překročeny mezní hodnoty CHSK_{Cr} uvedené platné legislativě. Výkyv hodnoty CHSK_{Cr} na výstupu ze 14.4.2016 zapříčinilo deštivé počasí, které mělo za následek zviření kalu a sedimentů a horší separaci částic od vyčištěné odpadní vody.

5. ZÁVĚR

Tato práce je zaměřena na sledování vybraných parametrů při procesu čištění odpadní vody v ČOV Brno-Modřice. Pro porovnání byly odebrány 2 vzorky z ČOV 1 a ČOV Ratišovice a jejich srovnání s ČOV Brno-Modřice bylo zaznamenáno v tabulkách v kapitolách 4.3. a 4.4. Hlavní část práce je zaměřena na biologické čištění odpadních vod a na vlastnosti aktivovaného kalu. Dále jsou zde uvedeny metody čištění odpadní vody jako filtrace, neutralizace, redoxní děje, aerobní a anaerobní procesy. Také jsou zde uvedeny vybrané ukazatele přípustného znečištění jako je CHSK, BSK, Ncelk. a Pcelk.. Všechny rozborů byly stanovovány z aktivovaného kalu z ČOV Brno-Modřice, kde byly prováděny kvalitativní a kvantitativní rozborů vzorků. Na základě zjištěných výsledků daných rozborů byla zjišťována účinnost čistícího procesu v ČOV Modřice.

Stanovení MO bylo rozděleno do 2. období, 1. období od 12.11.2015 – 10.12.2015 a 2. období od 9.2.2016 – 5.5.2016. V 1. období byly MO pozorovány pod mikroskopem s největším možným zvětšením 80x. Byly rozpoznány jen základní druhy MO rodu *Arcella*, *Habrotricha*, *Rotaria*, *Glaucoma*, *Aspidisca*, *Opercularia*, *Vorticella*, popřípadě hlístice. Teplota počasí se pohybovala nad 0°C, voda tedy nezamrzala. V tomto období byla účinnost ČOV Brno Modřice dle výpočtů abundance dobrá, aktivovaný kal byl nízkozatížený, většina organických zbytků byla odstraněna a kvalita vyčištěné odpadní vody byla vysoká.

Ve 2. období byly MO pozorovány na mikroskopu s výrazně vyšším zvětšením 1600x. Odběr vzorků byl prováděn v průběhu 3 měsíců, rozsah teplot počasí byl tedy větší, což se odráželo i na jednotlivých výsledcích. Bylo zjištěno, že se zvyšující se teplotou je účinnost ČOV v odstraňování organických živin nižší než při nižších teplotách. Tuto skutečnost však vyrovnala zjištěná abundance bezbarvých bičíkovců, kteří společně s výskytem *Arcell* a hlístic indikují nízké zatížení kalu a vysokou kvalitu vyčištěné odpadní vody. Po porovnání abundancí jednotlivých MO bylo tedy potvrzeno tvrzení z 1. období, tedy že ČOV Brno-Modřice má vysokou účinnost čištění odpadní vody, kal nezahnlivá, je nízkozatížený, organické zbytky jsou odstraněny a kvalita vyčištěné odpadní vody je vysoká.

V rámci 2. období byly také provedeny 2 srovnání ČOV Brno-Modřice s jinými ČOV a byla zkoumána i CHSK_{Cr}. Porovnáním jiných ČOV s ČOV Brno-Modřice bylo potvrzeno, že je velmi důležité, jaký druh odpadní vody ČOV zpracovává, jaký je průběh čištění, jestli je zařazen biologický stupeň či nikoli a pro jaký počet EO je uzpůsobena. Základní MO jako je *Habrotricha*, *Rotaria*, *Arcella*, *Aspidisca*, *Vorticella* a *Opercularia* byly nalezeny i ve vzorcích z ČOV 1 a z ČOV Ratišovice. V těchto vzorcích kalu však bylo indikováno velké množství rostlinných a živočišných zbytků, menší množství vloček aktivovaného kalu i zelené vláknité organismy. Tyto skutečnosti napovídají o jiném procesu čištění, než je prováděn v ČOV Brno-Modřice. Z výsledků v tabulce č. 4 bylo zjištěno, že ČOV Brno-Modřice splňuje limity pro ukazatele CHSK_{Cr}. Jiné ukazatele nebyly určovány, tato možnost byla ponechána pro další zkoumání např. v rámci diplomové práce.

6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009, viii, 579 s.
- [2] *Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech*. Praha, 2015.
- [3] *Vliv účinnosti ČOV na kvalitu vody v recipientu*. Brno: Literra Scripta, 2012.
- [4] ČSN EN ISO 5667-13. *Pokyny pro odběr vzorků kalů z čistíren odpadních vod a úpraven vod*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [5] ŠTĚRBA, Otakar. *Voda živá*. Praha: Arnika, 2011, 67 s.
- [6] AMANATIDOU, Elisavet, Georgios SAMIOTIS, Eleni TRIKOILIDOU, Dimitrios TZELIOS a Avraam MICHAILIDIS. Influence of wastewater treatment plants' operational conditions on activated sludge microbiological and morphological characteristics. *Environmental Technology* [online]. 2015, 37(2), 265-278 [cit. 2016-01-07]. DOI: 10.1080/09593330.2015.1068379. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09593330.2015.1068379>
- [7] SLÁDEČEK, Vladimír. *Příručka k mikroskopickému hodnocení čistíren odpadních vod*. Praha: Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 1992, 143 s.
- [8] FYDA, Janusz, Roman BABKO, Edyta FIAŁKOWSKA, Agnieszka PAJDAK-STÓŚ, Wioleta KOCERBA-SOROKA, Mateusz SOBCZYK a Łukasz SOBCZYK. Effect of high levels of the rotifer *Lecane inermis* on the ciliate community in laboratory-scale sequencing batch bioreactors (SBRs). *European Journal of Protistology* [online]. 2015, 51(5), 470-479 [cit. 2016-01-07]. DOI: 10.1016/j.ejop.2015.09.001. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0932473915000784>
- [9] WANNER, J., I. RŮŽIČKOVÁ, O. KRHŮTKOVÁ a O. BENEŠ *Biologická kontrola čištění odpadních vod, Technické doporučení*. Praha: Asociace čistírenských expertů ČR, 2000.
- [10] DOHÁNYOS, Michal, Nina STRNADOVÁ a Jan KOLLER. *Čištění odpadních vod*. Vyd. 2. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1998, iv, 177 s.
- [11] DOHÁNYOS, M. Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. *Biom.cz* [online]. 2006 [cit. 2015-12-31]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>
- [12] ČOV Brno - Modřice. *Brněnské vodárny a kanalizace* [online]. Brno: iPublisher, 2005 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cistení-odpadnich-vod/cov-brno-modrice/>

- [13] *Způsoby čištění odpadních vod* [online]. In: . Mendelova univerzita, b.r., s. 16 [cit. 2016-05-14].
- [14] *Příručka pro čištění a úpravu vody*. Přerov: KEMIFLOC, 1996, 133 s.
- [15] RASHED, Ehab M. a Mohamed MASSOUD. The effect of effective microorganisms (EM) on EBPR in modified contact stabilization system. *HBRC Journal*. 2014, , 384-392. DOI: 10.1016/j.hbrj.2014.06.011. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1687404814000558>
- [16] KOBYLINSKY, Ed, Mark STEICHEN, Dave KOCH, Dave BUNCH a Tom RATZKI. What Everyone Should Know About Enhanced Biological Phosphorus Removal. *Guest Column* [online]. 2014 [cit. 2016-05-06].
- [17] CHSK. *Katedra analytické chemie UP v Olomouci* [online]. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci: Katedra analytické chemie UP Olomouc, 2008 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://ach.upol.cz/user-files/intranet/chsk-1326017848.pdf>
- [18] Příloha č.1 k SOP č.MK-7 / Flexibilní rozsah akreditace – Seznam akreditovaných zkoušek. *Pražské vodovody a kanalizace* [online]. Praha: Vizus CMS, 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.pvk.cz/res/archive/940/095677.pdf?seek=1454914054>
- [19] Výroční zpráva 2014. *Brněnské vodárny a kanalizace* [online]. Brno: iPublisher, 2005 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: www.bvk.cz/files/3884/vyrocní-zpráva-2014.pdf
- [20] Activated sludge. *Activated sludge information systems* [online]. 2012 [cit. 2016-01-02]. Dostupné z: <http://www.asissludge.com/>
- [21] Obecné zásady čistírenských procesů. *ČVUT Fakulta Strojní* [online]. 2002 [cit. 2016-01-02]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/u218/pedagog/predmety/5rocnik/toV/STUDMAT/PDF/oBezbcov.pdf>
- [22] *Biologická problematika provozu a kontroly čistíren odpadních vod: sborník : workshop 041104 : 4. listopad 2004, Praha*. 1. vyd. Chrudim: Vodní zdroje EKOMONITOR, 2004, 66 s.
- [23] *Zpracování kalů: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku zpracování kalů* [online]. 2008 [cit. 2016-01-03]. Dostupné z: <http://hgfl0.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/charakter.html>
- [24] GLYMPH, Toni. *Wastewater Microbiology A Handbook for Operators*. První. USA: American Water Works Association, 2005.
- [25] ČSN 75 7712. *Kvalita vod - Biologický rozbor - Stanovení biosestonu*. Praha: Technická normalizační komise, 2013.
- [26] AMBROŽOVÁ, Jana. *Mikroskopické praktikum z hydrobiologie*. První. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2002.

- [27] SLÁDEČEK, Vladimír a Alena SLÁDEČKOVÁ. *Atlas vodních organismů se zřetelem na vodárenství, povrchové vody a čistírny odpadních vod*. Praha: Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 1997.

7. SEZNAM ZKRATEK

BOD	<i>Biological Oxygen Depletion</i>
BSK	Biochemická spotřeba kyslíku
BSK ₅	Pětidenní biochemická spotřeba kyslíku
BSK ₇	Sedmidenní biochemická spotřeba kyslíku
COD	<i>Chemical Oxygen Depletion</i>
ČOV	Čistírna odpadních vod
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
CHSK _{Cr}	Dichromanová chemická spotřeba kyslíku
EBPR	<i>Enhanced Biological Phosphorus Removal</i>
EO	Ekvivalentní obyvatel
MO	Mikroorganismy
N _{celk.}	Celkový dusík
P _{celk.}	Celkový fosfor
WWTP	<i>Wastewater Treatment Plant</i>

8. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Tabulka č. 1: Ukazatelé znečištění odpadních vod
Příloha 2	Počítací komůrka typu Cyrus I.
Příloha 3	Obecné blokové schéma ČOV Blokové schéma ČOV Modřice
Příloha 4	Blokové schéma ČOV Modřice
Příloha 5	Obrázky pozorovaných mikroorganismů v aktivovaném kalu

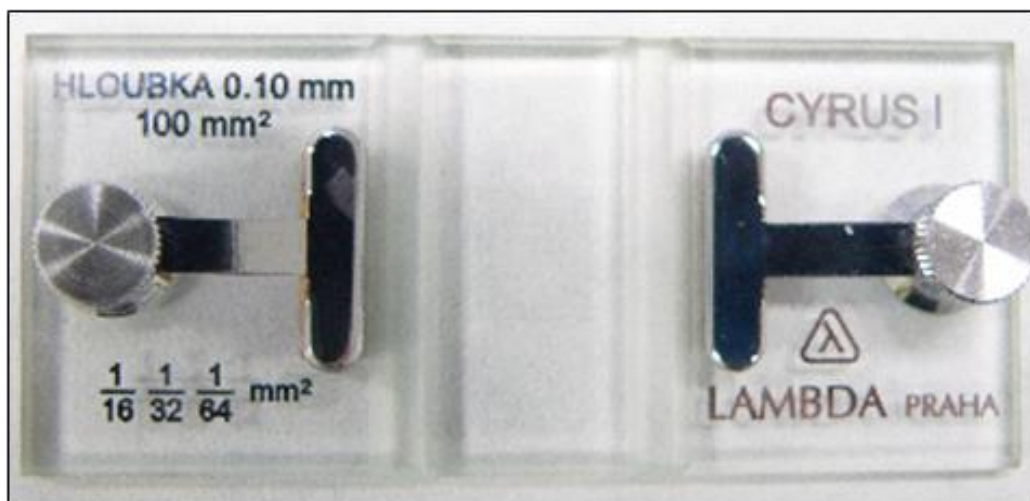
Příloha 1

Tabulka 1

Kategorie ČOV	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄ ⁺		N _{celk}		P _{celk}	
	p	m	p	m	p	m	průměr	m	průměr	m	průměr	m
<500	150	220	40	80	50	80	–	–	–	–	–	–
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	–	–	–	–
2 001 - 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	–	–	3	8
10 000 - 100 000	90	130	20	40	25	50	–	–	15	30	2	6
>100 000	75	125	15	30	20	40	–	–	10	20	1	3

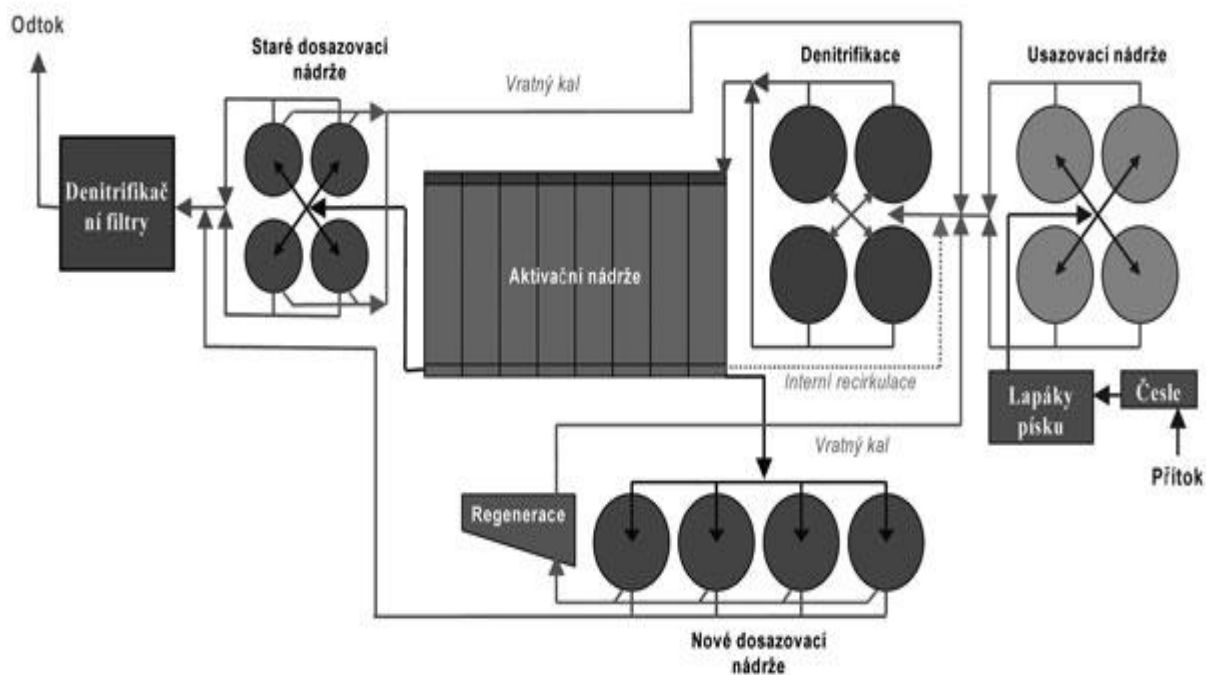
p - přípustné hodnoty v mg/l; m - maximální hodnoty v mg/l

Příloha 2



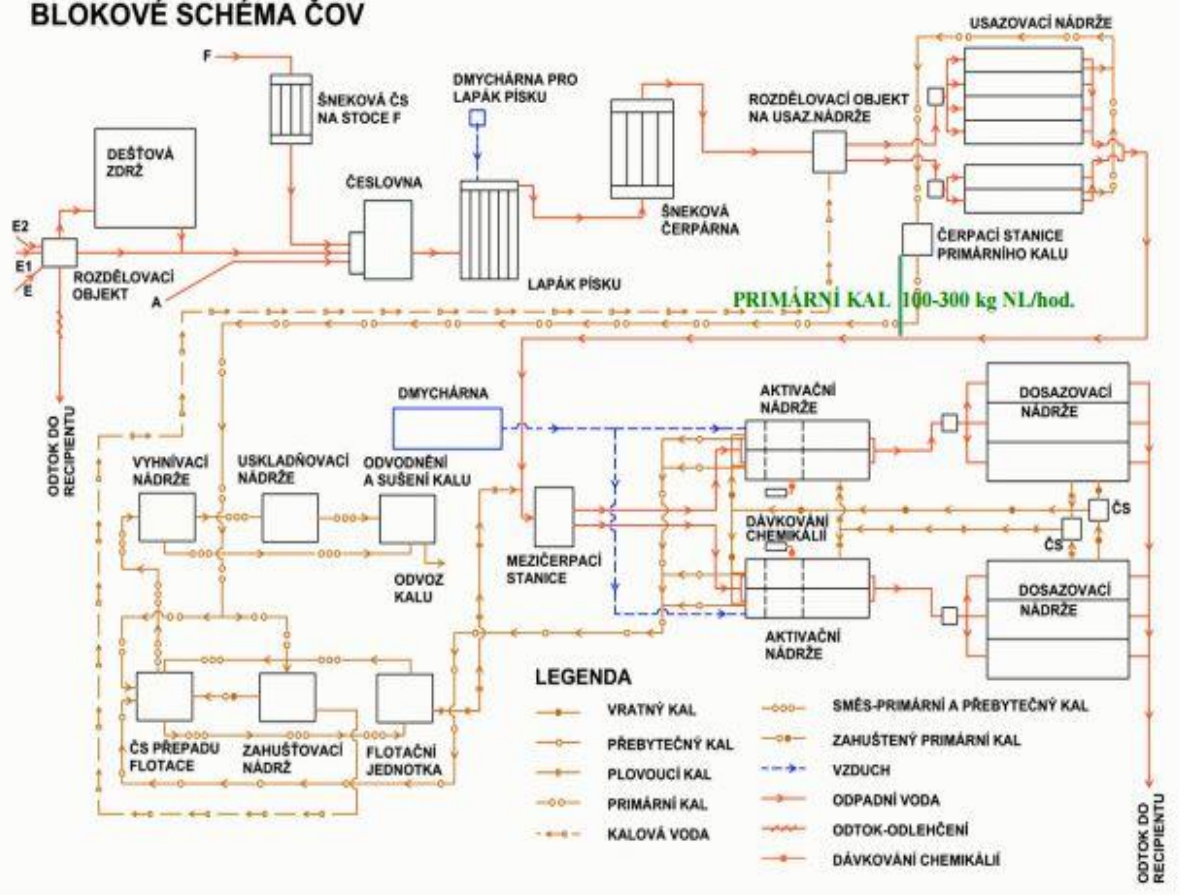
Příloha 3

Rekonstrukce ÚČOV



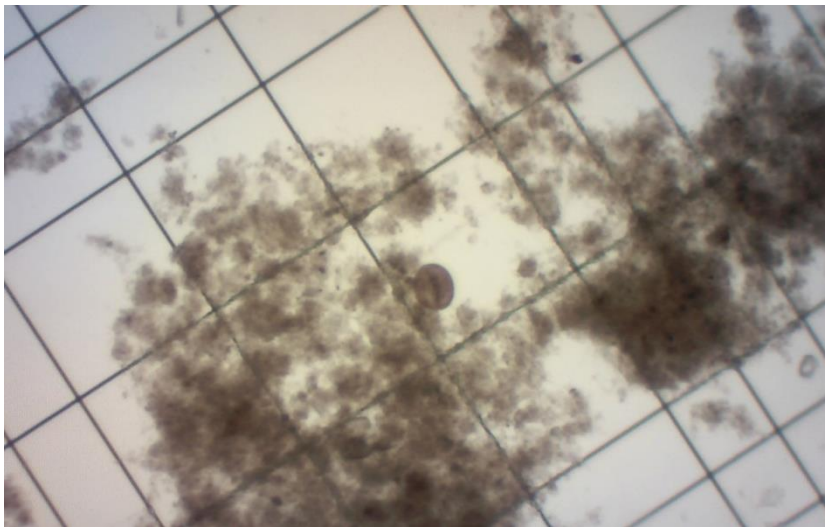
Příloha 4

BLOKOVÉ SCHÉMA ČOV

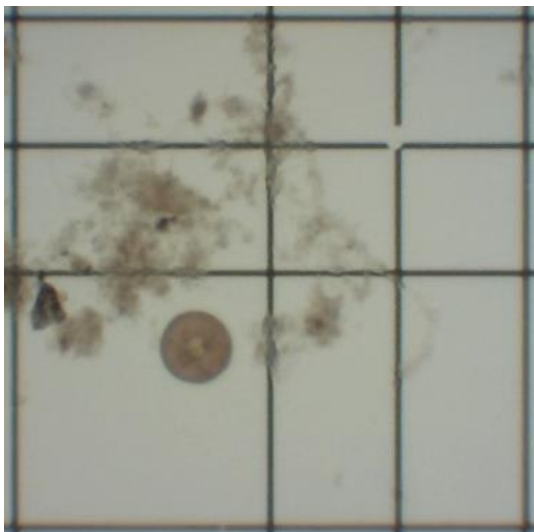


Příloha 5

Pozn.: Všechny obrázky v této příloze: nativní preparát, přímé světlo.



Vločky aktivovaného kalu a Arcella, 80x



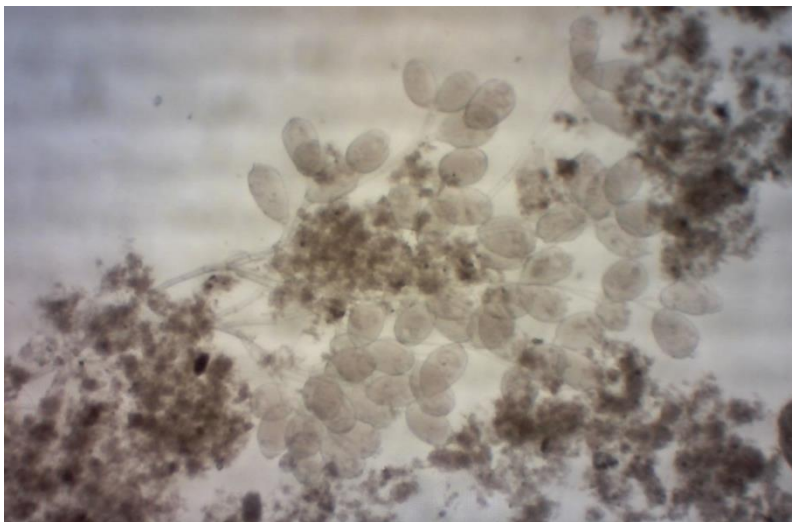
Arcella, 80x



Aspidisca, 640x



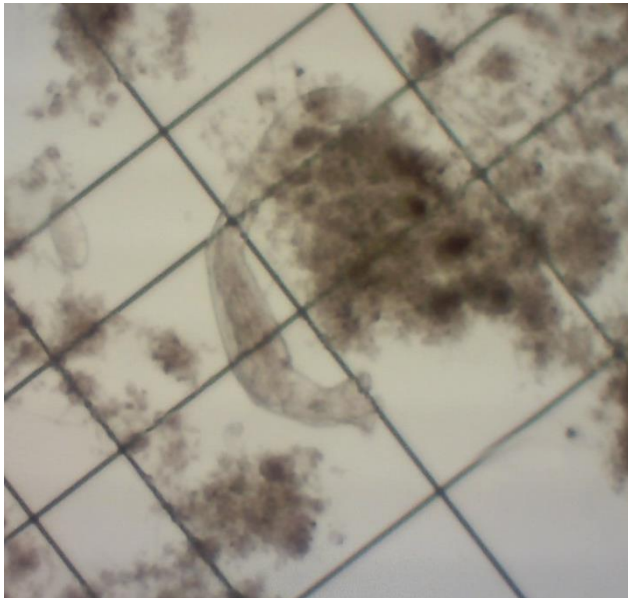
Vorticella spp., 640x



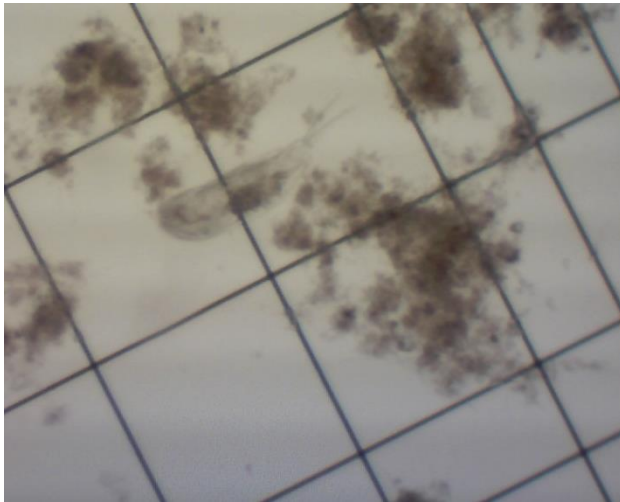
Opercularia spp., 80x



Habrotrocha spp., 80x



Rotaria spp., 80x



Notommata spp., 80x



Hlístice spp., 160x